



# INTEGRIERTES KONZEPT FÜR DIE MANÖVERBASIERTE FAHRERASSISTENZ

Kann ein Fahrzeug in alltäglichen Verkehrssituationen ohne kontinuierliche Stabilisierungseingaben, also allein durch Manöverkommandos geführt werden? Dieser Frage stellen sich das Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD) und das Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) der Technischen Universität Darmstadt. Um diese Frage im DFG-geförderten Forschungsprojekt Conduct-by-Wire zu beantworten, wird eine Simulation in IPG CarMaker und Matlab/Simulink verwendet.

## AUTOREN



**DIPL.-ING. STEPHAN HAKULI**  
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter  
am Fachgebiet Fahrzeugtechnik  
(FZD) der Technischen Universität  
Darmstadt.



**DIPL.-ING. SEBASTIAN GEIER**  
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter  
am Fachgebiet Fahrzeugtechnik  
(FZD) der Technischen Universität  
Darmstadt.



**PROF. DR. HERMANN WINNER**  
leitet das Fachgebiet  
Fahrzeugtechnik (FZD) der  
Technischen Universität Darmstadt.



**DIPL.-ING. JOSEF HENNING**  
ist Teamleiter CarMaker-Service  
bei der IPG Automotive GmbH  
in Karlsruhe.

## KONTINUIERLICHE UND EREIGNIS- DISKRETE FAHRZEUGFÜHRUNG

Die konventionelle Fahrzeugführungsaufgabe lässt sich in Form dreier kaskadierter Regelkreise beschreiben [1]: Die Navigationsaufgabe umfasst die Routenplanung und gegebenenfalls notwendige Modifikation. Die Bahnführungsaufgabe als unterlagerter Regelkreis enthält die situationsabhängige Ausgestaltung der Route durch die Auswahl geeigneter Fahrmanöver und zugehöriger Trajektorien. Diese liefern die Führungsgrößen für die Stabilisierungsaufgabe, nämlich die Minimierung der Trajektorien-Soll-Ist-Differenz. Sie macht den Hauptteil der Fahrer-Fahrzeug-Interaktion bei der konventionellen Fahrzeugführung aus und besteht aus kontinuierlichen stabilisierenden Eingaben mittels Lenkrad und Pedalerie.

Der Conduct-by-Wire-Ansatz der TU Darmstadt (to conduct: führen, leiten, dirigieren) besteht darin, die konventionelle Fahrer-Fahrzeug-Interaktion von der Stabilisierungsebene auf die Bahnführungsebene zu heben. An die Stelle kontinuierlicher Stabilisierungsaktion zur manuellen Umsetzung von auf der Bahnführungsebene geplanten Manövern und Trajektorien tritt die ereignisdiskrete Kommunikation über eine neuartige Manöverschnittstelle. Mittels Manövereingaben delegiert der Fahrer die Aufgabe der Trajektoriengestaltung und -stabilisierung an das Fahrzeug, beeinflusst die Manöverausführung gegebenenfalls durch Parametrierung und kann im Bedarfsfall immer noch selbst stabilisierend eingreifen.

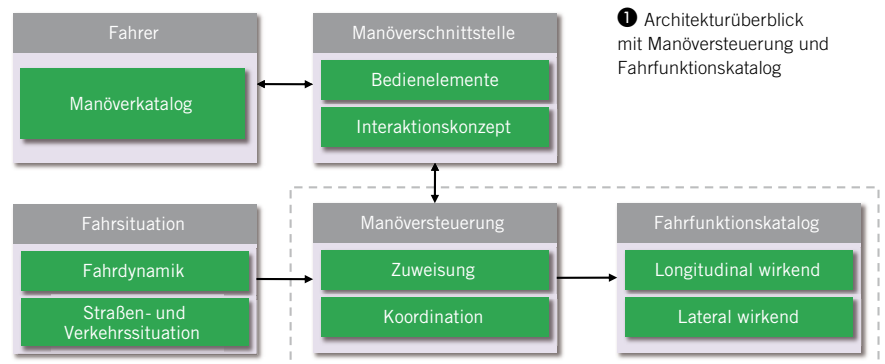
Der Begriff Manöverschnittstelle steht sowohl für die ausgestaltete Mensch-Maschine-Schnittstelle als auch für das zugehörige Interaktionskonzept. Dieser

kooperative Ansatz [2] entlastet den Fahrer von der Stabilisierungsaufgabe, integriert ihn zusätzlich zur maschinellen Umfeldinterpretation als Entscheidungsinstanz, fordert im Gegensatz zu autonomen Fahrzeugführungskonzepten weiterhin Manöver- und Routenentscheidungen und hält den Fahrer damit konform zum Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr von 1968 in der direkten Verantwortung.

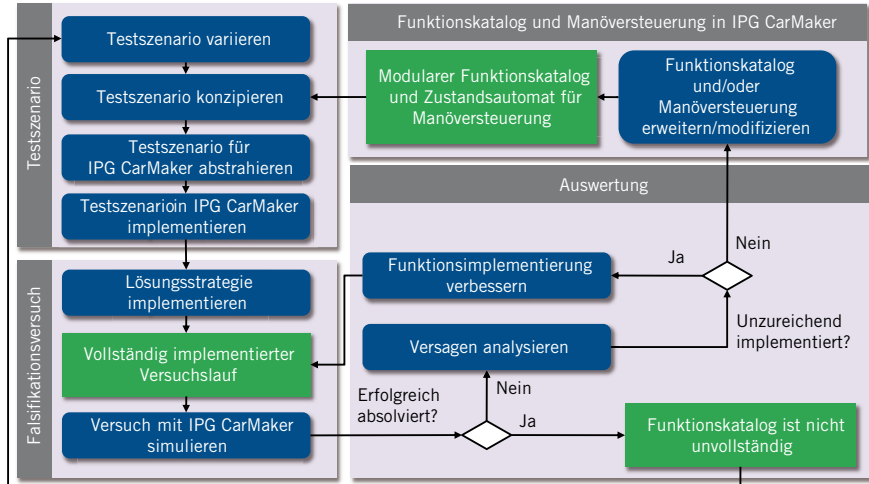
## MANÖVERAUFTRÄGE UND AUSFÜHRENDE FUNKTIONEN

Die mittels der Manöverschnittstelle kommunizierten Manöverbefehle [3] werden fahrzeugseitig von einer als Zustandsautomat ausgeführten Manöversteuerung interpretiert und zur Ausführung sogenannten Fahrfunktionen zugewiesen, ❶. Der Fahrfunktionskatalog besteht aus elementaren, verkettbaren und entweder longitudinal oder lateral wirkenden Funktionen wie Geschwindigkeit halten, Einscheren vorbereiten, Zielbremsen, Hindernis innerhalb der Fahrstreifengrenzen ausweichen, Fahrstreifen wechseln, Abbiegen und vielem mehr. Zu jedem Zeitpunkt ist genau ein Paar aus einer longitudinal und einer lateral wirkenden Funktion aktiv, deren Auswahl, Aktivierung, Deaktivierung und Parametrierung die Aufgabe der übergeordneten Manöversteuerung ist.

Der modulare Aufbau des Funktionskatalogs trägt der Tatsache Rechnung, dass der gleiche Manöverauftrag situationsabhängig unterschiedlicher ausführender Funktionen bedarf: Ein Fahrstreifenwechsel beispielsweise kann unter anderem aus dem gebundenen in den freien Verkehr, aus dem freien Verkehr in eine Folgesituation hinein oder auch in



eine Situation hinein beauftragt werden, in der noch keine passende Ziellücke vorhanden ist. Während der Fahrer hier das immer gleich lautende Manöver „Fahrstreifenwechsel“ beauftragt, sind funktionsseitig unterschiedliche und teilweise sogar innerhalb eines Manövers wechselnde Funktionen in der longitudinalen und lateralen Dimension involviert. Durch die dimensionale Trennung und elementare Verkettbarkeit seiner Bestandteile ist der Funktionskatalog einerseits auch komplexen Verkehrsszenarien gewachsen, andererseits bleibt er gleichzeitig kompakt und flexibel hinsichtlich Erweiterungen und Anpassungen.



② Iterativer Entwicklungsprozess mit Simulationsunterstützung

**FUNKTIONSENTWICKLUNG FÜR CONDUCT-BY-WIRE**

Eine der wesentlichen Forderungen an den Funktionskatalog und das übergangssteuernde Regelwerk ist die Vollständigkeit, das heißt die Eignung zum Einsatz in beliebigen Verkehrssituationen. Da es jedoch unzulässig ist, aus einer erfolgreich

absolvierten Reihe von Verkehrsszenarien den Schluss der Eignung in jedweden Szenarien zu ziehen, folgt die Funktionsentwicklung einem Falsifikationsansatz: Es gilt in guter wissenschaftlicher Praxis die universelle Hypothese der Vollständigkeit

des vorhandene Funktionskatalogs und des zugehörigen Regelwerks zu widerlegen. Oder in anderen Worten: Gesucht wird die Verkehrssituation, die mit dem zur Verfügung stehenden Funktionsumfang nicht absolvierbar ist.



**Sag mir, wo die Autos sind... Welchen Platz hat das Auto in der Stadt von morgen?**

Automotive Agenda – Wie fährt die Zukunft?  
 Jetzt Vorzugsausgabe online bestellen:  
**www.Automotive-Agenda.de** oder per Fax an:  
**0611.7878 440**

Die Funktionsentwicklung geschieht mit IPG CarMaker und Matlab/Simulink von MathWorks. Neben einem parameterbasierten Mehrkörper-Fahrzeugmodell, einem ausgereiften Fahrermodell sowie einem im Projekt erweiterten Straßenmodell bietet CarMaker die Möglichkeit, Simulink-basierte Regler zu integrieren und das simulierte Fahrzeugmodell mit statischen und dynamischen Umgebungsobjekten in Prüfläufen, sogenannten TestRuns, wechselwirken zu lassen. CarMaker stellt aus Projektsicht die ideale Umgebung zum automatisierten Test der entwickelten Fahrfunktionen und der zugehörigen Funktionsübergänge dar.

In 2 ist der zugehörige iterative Entwicklungsprozess dargestellt. Beginnend oben rechts wird der jeweils aktuelle Entwicklungsstand von Funktionskatalog und Manöversteuerung in relevanten Testszenarien geprüft, die für die Simulation auf die notwendigen Details reduziert und dann als Simulationsfall implementiert werden. Zu jedem Testfall gehört eine Lösungsstrategie in Form von simulierten ereignis- oder wegabhängigen Fahrereingaben.

Die Kombination aus Testfall und Lösungsstrategie ergibt einen simulierbaren Versuchsablauf, der entweder bestanden oder nicht bestanden wird. Eine erfolgreiche Absolvierung erlaubt nicht den Schluss auf die Vollständigkeit von Funktionskatalog und Regelsatz, sie beweist lediglich nicht die Unvollständigkeit und resultiert in der Erhöhung der Szenarienkomplexität oder der Auswahl eines neuen Szenarios für den nächsten Test. Im Falle eines nicht erfolgreich absolvierten Testszenarios gilt es zu überprüfen, ob die Ursache in einer unzureichend implementierten Funktion oder im Fehlen einer Fahrfunktion oder eines Funktionsübergangs zu suchen ist.

## DANKE

Die Autoren danken Dipl.-Wirtsch.-Ing. Michael Schreiber, Dipl.-Psych. Michaela Kauer und Prof. Dr.-Ing. Ralph Bruder vom Institut für Arbeitswissenschaft (IAD) der Technischen Universität Darmstadt für die wertvollen Diskussionen während der gemeinsamen Projektarbeit.

## POSITIVE ERGEBNISSE

Ein erster Funktionskatalog, wie in [4] vorgestellt, hat sich in der Simulation in relevanten Szenarien des außerstädtischen Verkehrs bereits bewährt. „Show Stopper“-Szenarien für manöverbasiertes Fahren konnten dabei bis jetzt nicht identifiziert werden, und die positiven Ergebnisse erster Akzeptanzuntersuchungen [5] ermutigen zur weiteren Detaillierung des Konzepts. In aktuellen Arbeiten werden der Funktionskatalog und die Implementierung der Funktionen mit der beschriebenen Methodik systematisch in Anwendungsfällen zunehmender Komplexität getestet und erweitert und in Anknüpfung an ein Designbeispiel [6] eine Mensch-Maschine-Schnittstelle entwickelt, die den Anforderungen der manöverbasierten Fahrzeugführung gerecht wird.

### LITERATURHINWEISE

- [1] Donges, E.: Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. In: Automobil-Industrie 27 (1982), S. 183 – 190
- [2] Hakuli, S.; et al.: Kooperative Automation. In: Winner, H.; Hakuli, S.; Wolf, G. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Vieweg+Teubner-Verlag, Wiesbaden, 2009
- [3] Schreiber, M.; Kauer, M.; Bruder, R.: Conduct by Wire – Maneuver Catalog for a Semi Autonomous Vehicle Guidance. In: Proceedings IEEE Intelligent Vehicle Symposium 2009, pp. 1279 – 1285, Xi'an, China, 2009
- [4] Hakuli, S.; et al.: Development and Validation of Manoeuvre-Based Driver Assistance Functions for Conduct-by-Wire with IPG CarMaker. In: Proceedings Fisita 2010 World Automotive Congress, Budapest, Hungary, 2010
- [5] Schreiber, M.; et al.: Verification of a Maneuver Catalog for a Maneuver-based Vehicle Guidance System. In: Proceedings IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2010. Istanbul, Turkey, 2010
- [6] Kauer, M.; Schreiber, M.; Bruder, R.: How to Conduct a Car? A Design Example for Maneuver-based Driver Vehicle Interaction. In: Proceedings, IEEE Intelligent Vehicle Symposium 2010, pp. 1214 – 1221, San Diego, USA, 2010



DOWNLOAD DES BEITRAGS  
www.ATZonline.de



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE  
order your test issue now:  
SpringerAutomotive@abo-service.info

# Sensoren für die Antriebsstrang- entwicklung

Beschleunigungsaufnehmer und Mikrofone von PCB Piezotronics sind seit vielen Jahren ein bewährtes Hilfsmittel bei Vibrationsuntersuchungen am Antriebsstrang und Motor von Fahrzeugen aller Art. Sie zeichnen sich aus durch mechanische Robustheit, hohem Schockschutz, vielfältige Bauformen und kleinen Abmessungen.



Piezoelektrische  
ICP®-Beschleunigungs-  
aufnehmer

- einachsige und triaxiale Aufnehmer mit unterschiedlichen Bauformen
- Einsatztemperaturen der ICP®-Aufnehmer bis 163°C
- Serie 339A mit besonders niedrigem Temperaturkoeffizienten
- integrierte Tiefpassfilter vermeiden Übersteuerungen durch hochfrequente Anregungen



Piezoelektrische  
Beschleunigungsauf-  
nehmer für Hochtem-  
peraturanwendungen

- einachsige und triaxiale Aufnehmer mit Ladungsausgang
- dauerhaft bei Temperaturen von bis zu 480°C einsetzbar
- einfache und schnelle Montage
- Messbandbreite bis 16 kHz (einachsig) und 10 kHz (dreiaxig)



Präzisionsmikrofone

- Präzisionsmikrofone mit weitem Frequenz- und Temperaturbereich (bis 120°C!)
- durch Vorpolarisierung an jeder ICP®-Versorgung zu betreiben
- niedriges Rauschen und Tiefpassfilterung im Verstärker
- robuste Membrane aus Edelstahl
- preisgünstige Mikrofone für Array-Anwendungen

**Wir beraten Sie gerne, auch vor Ort.  
Es lohnt sich mit uns zu sprechen!**

**synOTECH**  
Sensor und Meßtechnik GmbH

WIR MESSEN BESCHLEUNIGUNG, SCHALL, DRUCK, KRAFT  
Porschestra. 20-30 • 41836 Hückelhoven  
Tel.: 0 24 33 / 44 44 40-0  
Fax: 0 24 33 / 44 44 40-79  
info@synotech.de • www.synotech.de